



**REVISIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN COLOMBIA POR LA GENERACIÓN
ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL
EN ÉPOCA DE FENÓMENO DE EL NIÑO ENTRE LOS AÑOS 1990- 2016.**

Erika Julieth Barrera Cabal

Universidad Militar Nueva Granada

Especialización Planeación Ambiental y Manejo de Recursos Naturales

1 de julio de 2017

Bogotá D.C

REVISIÓN DE EMISIONES DE CO₂ EN COLOMBIA POR LA GENERACIÓN ENERGÍA ELÉCTRICA PARA EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL EN ÉPOCA DE FENÓMENO DE EL NIÑO ENTRE LOS AÑOS 1990- 2016.

REVISION OF CO₂ EMISSIONS IN COLOMBIA BY THE GENERATION OF ELECTRICITY IN THE NATIONAL INTERCONNECTED SYSTEM UNDER “EL NIÑO” PHENOMENON BETWEEN 1990- 2016.

Erika Julieth Barrera Cabal
Ingeniera Industrial, Especialización en Planeación Ambiental y Manejo Integral de los Recursos Naturales
Universidad Militar Nueva Granada
Bogotá, Colombia
erika.barrera86@gmail.com

RESUMEN

La generación de energía eléctrica en Colombia se realiza por medio de energéticos primarios tales como recursos hidráulicos, gas natural, carbón y combustibles líquidos. Los recursos naturales renovables no convencionales presentan un bajo nivel de aprovechamiento para la generación de electricidad.

Para realizar la revisión de las emisiones de CO_{2eq} en Colombia por la generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional en época del fenómeno de El Niño entre los años 1990 - 2016, se recopilan datos de fuentes nacionales e internacionales, como XM, Unidad de Planeación Minero Energética y La Agencia Internacional de Energía. Con esta información se realiza un análisis del uso de los recursos primarios que se utilizan para la generación de energía eléctrica en el País y la tendencia de emisiones de CO_{2eq}, por parte del Sistema Interconectado Nacional.

Los resultados indican que hay una relación entre el fenómeno de El Niño, los recursos primarios que se utilizan para la generación de energía eléctrica y las emisiones de CO_{2eq} del Sistema Interconectado Nacional.

Dentro de las principales conclusiones de la presente revisión se encuentran la alta dependencia del recurso hídrico por parte del Sistema Interconectado Nacional en

Colombia, que la alternativa para el abastecimiento de electricidad en época del fenómeno de El Niño causa un impacto directo en el recurso aire y que se requiere la implementación de alternativas ambientalmente sostenibles para la generación de energía eléctrica.

Palabras clave: CO_{2eq}, Emisiones, Energía Eléctrica, Fenómeno de El Niño, Generación.

ABSTRACT

Electric energy generation in Colombia is carried out through primary energy sources such as hydro, natural gas, coal and liquid fuels. Non-conventional renewable resources shows a low level of use for the generation of electricity.

In order to carry out the CO_{2eq} emissions review in Colombia due to electric generation in the National Interconnected System during El Niño between 1990 and 2016, data are collected from national and international sources, such as XM, Unidad de Planeación Minero Energética and the International Energy Agency. From this information a trend analysis of the primary resources used for the electrical generation energy in the Country and the trend of CO_{2eq} emissions, by the National Interconnected System are carried out.

Results indicates that there is a relationship between the El Niño phenomenon, the primary resources that are used for the electric generation and the CO_{2eq} emissions of the National Interconnected System.

The main conclusions of the present review are the high dependence of the water resource from the National Interconnected System in Colombia, that the alternative to supply electricity during El Niño phenomenon has a direct impact on the air resource and that electric generation energy alternatives environmentally sustainable are required.

Keywords: CO_{2eq}, emissions, Electrical energy, “El Niño” phenomenon, generation.

INTRODUCCIÓN

Los Gases Efecto Invernadero (GEI), son propiciados por las actividades humanas, entre esas actividades se encuentra la generación de energía eléctrica, las cuales han creado un desequilibrio en la atmósfera presentando cambios climáticos.

Los GEI como el dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), ozono O₃, hidrofluorocarbonos (HFC) y otros GEI [1], son compuestos que se mantienen en la atmosfera regulando la temperatura sobre la superficie terrestre. Estos compuestos se han incrementado de manera dramática en las últimas décadas por emisiones de fuentes fijas y móviles debido al incesante e interminable proceso de desarrollo de la economía mundial, ocasionando crecimiento en los efectos mundiales del cambio climático. [2]

En el año 1997 se estructuro el protocolo de Kioto, [3] el cual tiene por objeto controlar y reducir GEI generados procesos industriales, encontrándose las termoeléctricas que generan energía eléctrica a partir de combustibles fósiles. Este

protocolo estableció entre diferentes países, entre ese Colombia, el compromiso con el desarrollo sostenible por medio del establecimiento de normas que combatan el cambio climático. [4] En el caso Colombiano se creó una línea base anual de las emisiones emitidas a la atmosfera, estas emisiones son registradas en documentos como los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero los cuales se encuentran divididos por sectores de agricultura, energía, residuos y procesos industriales, apoyados por los científicos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC) quienes a su vez apoyan a La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. [5]

Esta revisión pretende conocer el funcionamiento de la generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional SIN en Colombia, diagnosticar la tendencia de las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ debido a la generación de energía eléctrica en épocas de fenómeno de El Niño entre los años 1990 a 2016 y como objetivo principal evaluar la relación entre el fenómeno del niño, los recursos primarios para generación de energía eléctrica y las emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ provocadas por el SIN en situaciones de escasez de recurso hídrico.

La correlación entre la generación de energía eléctrica, las emisiones de CO_2 del Sistema Interconectado Nacional y el histórico del fenómeno de El Niño entre los años 1990 a 2016, se abarcan en el presente escrito en tres temas:

En el apartado “Generación de energía eléctrica en Colombia” se desarrollan temas como indicadores de consumo de energía, se describe la estructura del Sistema Interconectado Nacional, su capacidad instalada y se identifican las fuentes primarias de generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional. Seguidamente en este artículo se explica qué es el fenómeno de El Niño, cómo se presenta en Colombia y cuál es el indicador que identifica la presencia o no de este fenómeno.

Se desarrolla la metodología donde se relaciona la generación de energía eléctrica, emisiones $\text{CO}_{2\text{eq}}$ y fenómeno de El Niño desde 1990 a 2016, puesto que en este periodo de tiempo se evidenciaron diferentes fenómenos de El niño con los cuales se puede tomar una referencia de información para relacionarlo con el aumento de emisiones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$.

Finalmente, se presentan los resultados obtenidos a partir de la triangulación de la revisión, el análisis de la información y las conclusiones respectivas.

1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN COLOMBIA

El consumo de energía per cápita va de la mano con el desarrollo económico de cada país y su Producto Interno Bruto (PIB), el del consumo de energía crece o decrece paralelamente a demanda exigida el sector industrial, comercial y domiciliario. [6] El banco mundial registra información y es posible realizar una comparación a nivel mundial y suramericano.

Para estar en capacidad de ubicar a Colombia en términos de consumo de energía per cápita, se han seleccionado tres potencias mundiales y algunos países vecinos,

buscando conocer y entender qué implica que para el País en el año 2013 se reportó un consumo de energía eléctrica per cápita de 1.287,219 kWh [7].

En la Fig. 1 Anexo A para el año 2013, Canadá presentó un consumo de energía eléctrica per cápita de 15.718 kWh, Estados Unidos registró un consumo de 12.988 kWh per cápita y por su parte Alemania presentó un consumo de 7.217 kWh per cápita. [8]

Es posible observar el suministro de energía per cápita para Colombia refleja que no es un país industrializado pues el consumo per cápita de energía eléctrica es un indicador asociado al desarrollo y ascendencia económica de los habitantes.

En la Fig. 2 Anexo B. Al comparar el índice de abastecimiento de energía eléctrica per cápita con algunos países de la región se identifica que Colombia se encuentra en un desarrollo paralelo al de Ecuador y Perú desde el año 2002 al 2013.

Los datos correspondientes al año 2013 de algunos países de Sur América, Bolivia presenta un consumo de energía per cápita de 705 kWh, seguido de Colombia con 1.287,219 kWh, al nivel de países como Ecuador, 1.333 kWh per cápita, y Perú con un índice de 1.267 kWh per cápita. [9]

En un nivel superior se encuentran Brasil con 2.528 kWh per cápita, Argentina con 2.943 kWh per cápita, Venezuela con 3.245 kWh per cápita y Chile con 3.878 kWh per cápita, países que presentan una pendiente de crecimiento en el indicador económico y desarrollo importante, superior a la pendiente de crecimiento del indicador del grupo anterior.

1.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

Un sistema de energía eléctrica consiste en un conjunto de elementos necesarios para abastecer de electricidad a la demanda. La demanda está concentrada en centros urbanos y en general donde se encuentran procesos productivos, industrias servicios, labores comerciales y el sector domiciliario. A su vez, la generación de energía eléctrica en un sistema se puede obtener por medio de recursos energético primarios como el hidráulico, combustibles fósiles, nuclear, renovables, entre otros. Los recursos naturales renovables no convencionales presentan un bajo nivel de aprovechamiento para la generación de energía eléctrica en Colombia. [10]

La generación de energía eléctrica en un sistema usualmente se presenta en lugares geográficos distantes de los centros de consumo de electricidad, por lo tanto, tal y como se ilustra en la Fig. 3 Anexo C, es necesario llevar la energía eléctrica desde los puntos de generación hasta los centros de demanda.

En las centrales de generación se disponen de transformadores de potencia los encargados de elevar la tensión hasta niveles en los cuales es económica y técnicamente viable transmitir la potencia generada a grandes distancias. Este proceso de la cadena de energía eléctrica se conoce como transmisión. [11] En Colombia la transmisión de energía eléctrica se realiza en niveles de tensión de 230

kV y 500 kV. [12]

Una vez los grandes bloques de energía se encuentran en los centros de demanda los niveles de tensión una vez más son transformados, pero en esta ocasión se recurren a niveles de tensión más bajos con los cuales se distribuyen la electricidad a los usuarios finales. Este proceso de la cadena de la energía eléctrica se conoce como distribución. En Colombia los voltajes más utilizados para la distribución de energía eléctrica corresponden a 13.2 kV y 11.4 kV. [13] Para el consumo del usuario final domestico se disponen de centros de transformación local con los cuales se llega a un voltaje para el usuario final usual de 220 - 110V. [14]

1.1.1. Estructura institucional del sector eléctrico en Colombia

El diagrama que resume la estructura del sistema eléctrico en Colombia se presenta a continuación (Ver Fig. 4). El Gobierno y sus instituciones tienen competencias para planear, controlar y regular el servicio brindado a la demanda.



Fig. 4 Estructura del sistema eléctrico

Fuente: Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG). [16-17]

La estructura del sistema eléctrico tiene en primer nivel la política donde la presidencia de la república a través del Ministerio de Minas y Energía es la que dirige la política nacional. Como manifiesta la Ley 143 de 1994:

El Ministerio de Minas y Energía, en ejercicio de las funciones de regulación, planeación, coordinación y seguimiento de todas las actividades relacionadas con el servicio público de electricidad, definirá criterios para el aprovechamiento económico de las fuentes convencionales y no convencionales de energía, dentro de un manejo integral eficiente, y sostenible de los recursos energéticos del país, y promoverá el desarrollo de tales fuentes y el uso eficiente y racional de la energía por parte de los

usuarios. (Secretaría General de la Alcandía Mayor de Bogotá, 1994, Capítulo 1) [18]

En Colombia los roles de planeación, coordinación y seguimiento son competencias del Gobierno, mientras que los agentes privados manejan la construcción y operación del sistema. [19]

En segundo nivel regulación La Comisión de Regulación de Energía Eléctrica y Gas (CREG) es un órgano en condiciones económicas y en la prestación de un servicio con calidad.

En tercer nivel el mercado son usuarios regulados donde las tarifas de compra están estandarizadas por la CREG. Por ultimo en el nivel de supervisión y control donde se encuentra la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, la cual vigila y sanciona en caso de que no se cumplan las pautas establecidas por la política y regulación.

1.1.2 Sistema Interconectado Nacional

Las Zonas No interconectadas ZNI, conforme a la Fig. 5, son aquellas que se encuentran en algunos corregimientos y/o municipios aislados geográficamente, zonas protegidas ambientalmente como lo es la selva Amazónica, que no están adheridos al Sistema Interconectado Nacional SIN. En estos lugares el suministro de energía es brindado, en su mayoría, por plantas de generación diésel, sistemas fotovoltaicos y pequeños centrales hidroeléctricos. [19-20] Cabe anotar que, la Zona Interconectada o Sistema Interconectado Nacional SIN se encuentra estructurado por medio de redes de transmisión y distribución que brindan respaldo eléctrico al sistema. En caso que se presente una falla, el sistema será respaldado, suministrando mejores niveles de servicio que en las zonas no interconectadas.

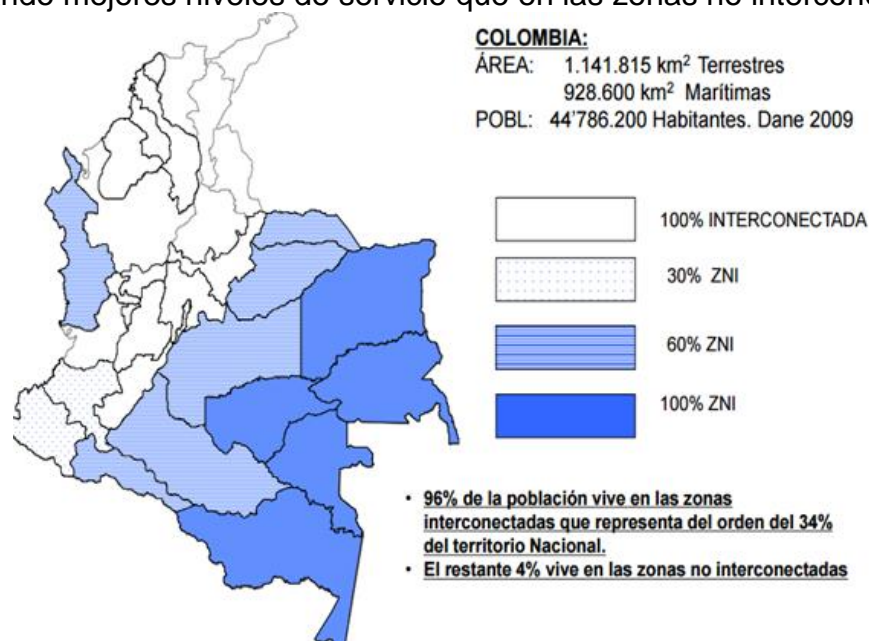


Fig. 5 Zonas Interconectadas y Zona No Interconectadas del Sistema Eléctrico Colombiano
Fuente: Universidad Externado de Colombia. [21]

Teniendo presente estos dos conceptos en este artículo se revisaran las emisiones de CO₂ en Colombia por la generación de energía eléctrica de las Zonas Interconectadas del Sistema Interconectado Nacional en época de fenómeno de El Niño entre los años 1990- 2016.

1.1.3 Fuentes primarias de generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN)

En la Fig. 6, se observan los porcentajes de participación de capacidad instalada en Colombia por recurso primario. La capacidad neta instalada en el País corresponde a 16.594,52 MW para finales del año 2016. Así mismo, el recurso hidráulico para el año 2016 presenta una participación del 66% correspondiente a 10.963 MW de la capacidad efectiva neta instalada en el País. Lo sigue el recurso primario Gas Natural con una potencia instalada de 2.128 MW, lo que representa el 13% de la capacidad efectiva y, en tercer lugar, con un empate técnico, se encuentran los recursos primarios de carbón y líquidos, representando cada uno el 8% de la capacidad instalada en el País. [22]

Las plantas que utilizan como recurso primario combustibles fósiles como gas natural, carbón y combustibles líquidos, entre otros, pertenecen al grupo denominado termoeléctricas. [23] Es importante anotar que las termoeléctricas para el año 2016 representan el 28.44% de la capacidad instalada del País. [22]

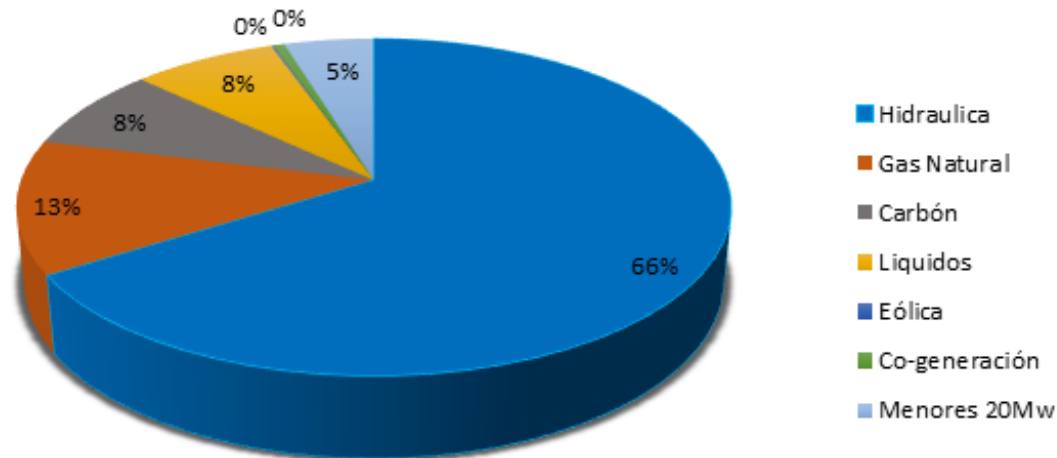


Fig. 6 Potencia efectiva neta (SIN) Dic 2016
Fuente: Datos de XM. Elaboración propia [22]

La primera experiencia de implementar plantas de generación de energía eléctrica a partir de recursos renovables fue el parque eólico Jepirachi, ubicado en la Guajira, el cual presenta una capacidad de 18.42 MW para el año 2016, La participación de la energía eólica en Colombia en el Sistema Interconectado Nacional representa tan solo el 0.11% de la capacidad efectiva neta instalada. [22], Calculo propio.

Por su parte las plantas termoeléctricas corresponden a una tecnología madura en

el País. Para el año 2016 se registran algunas termoeléctricas en Colombia, con su respectiva capacidad de generación de energía eléctrica. [24]

Tabla 1: Termoeléctricas en Colombia

Termoeléctricas	Capacidad de producción (MW)	Termoeléctricas	Capacidad de producción (MW)
Tebesa	877	Termopaipa	165
Termosierra	455	Termoguajira	151
Termoflores	441	Termobarranca	145
Termoemcali	233,8	Termozipa	70
Termovalle	205	Termoguandalay	53
Termocartagena	179	Termodorada	50
Merilétrica	169		

Fuente: Caracol radio. Elaboración propia. [24]

1.2 GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA ENTRE LOS AÑOS 1990 A 2016.

En Colombia, el recurso primario principal para la generación de energía eléctrica es el hidráulico, el cual presenta participaciones que oscilan entre el 66%, en el año 2015, y el 85%, en el año 2008, de la demanda del País. [25-26]. Cálculos propios. El recurso hídrico es fundamental para el desarrollo socioeconómico, pues cuando escasea por presencia del fenómeno de El Niño, los precios del mercado de energía suben, porque se debe suplir la energía hidráulica con fuentes primarias más costosas, es decir, para el caso colombiano, plantas termoeléctricas.

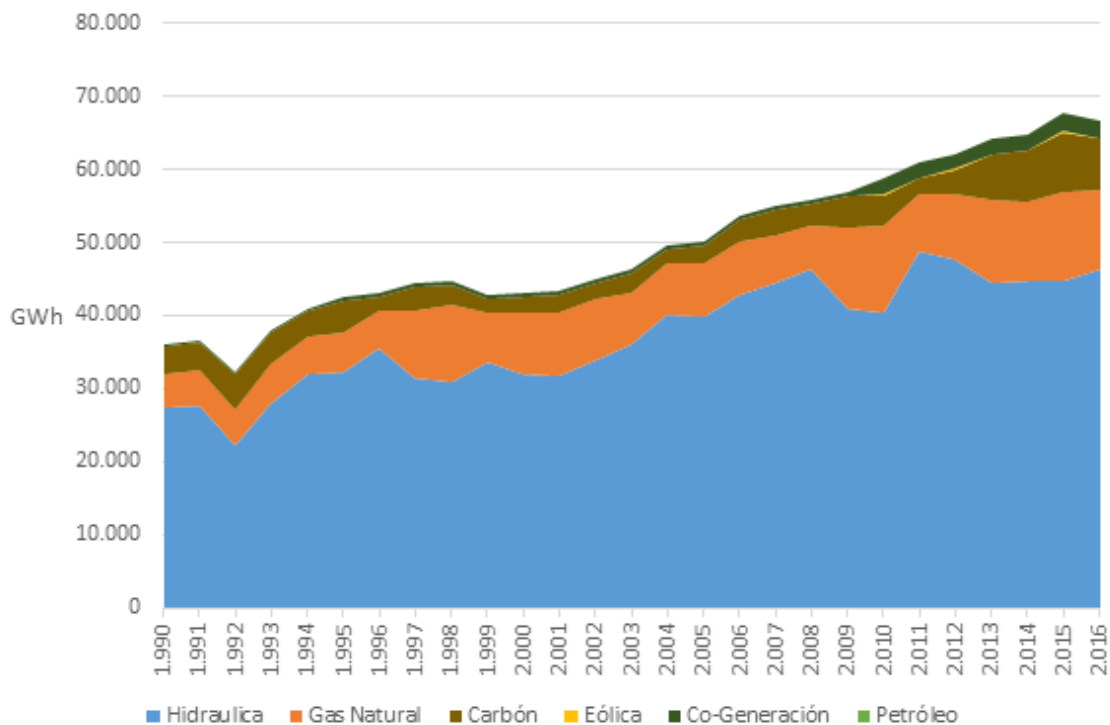


Fig. 7 Generación de energía eléctrica entre los años 1990 a 2016

Fuente: Datos de XM, UPME, Agencia Internacional de Energía. Cálculos y Elaboración propia.

En la Fig. 7 se observa que la energía proveniente de combustibles fósiles, gas natural, carbón y combustibles líquidos, corresponde al segundo recurso más utilizado para generación de energía eléctrica. [25-26] Así mismo, es importante anotar que ante el déficit de recurso hidráulico las plantas termoeléctricas son las llamadas a suplir el faltante de energía eléctrica demandada por el SIN. Ejemplo de lo anterior se evidencia en los años 1991 – 1992, 2008 – 2010, y en general, cada vez que se reduce el aporte de energía eléctrica por parte de las plantas hidroeléctricas. En los años 1991 – 1992 se presentó una situación de descenso en el aporte de generación de energía eléctrica por parte de las hidroeléctricas, causado por fenómeno de El Niño catalogado como fuerte, en el cual las plantas termoeléctricas no estuvieron en capacidad de suplir el total de la demanda de energía colombiana, llevando al País a un racionamiento, pues solo representaba el 22% de la generación. [27]

1.2.1 Emisiones de CO₂ del Sistema Interconectado Nacional

Los combustibles fósiles como gas natural, carbón y derivados de petróleo corresponden al segundo recurso más utilizado en Colombia para la generación de energía eléctrica en las termoeléctricas y son los responsables de las emisiones de CO_{2eq} en el Sistema Interconectado Nacional, para la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales:

El CO₂ es el más común de los gases de efecto invernadero y su mayor fuente la constituye la quema de los combustibles fósiles. Cuando estos combustibles se queman, gran parte del contenido de carbón se emite como CO₂ y en menor proporción como CO, CH₄ y otros hidrocarburos que finalmente se oxidan a CO₂ en un periodo de aproximadamente 10 años. En este hecho reside la importancia de contar con un método que permita el cálculo de las emisiones de este contaminante. (Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales, 2003, p.4).

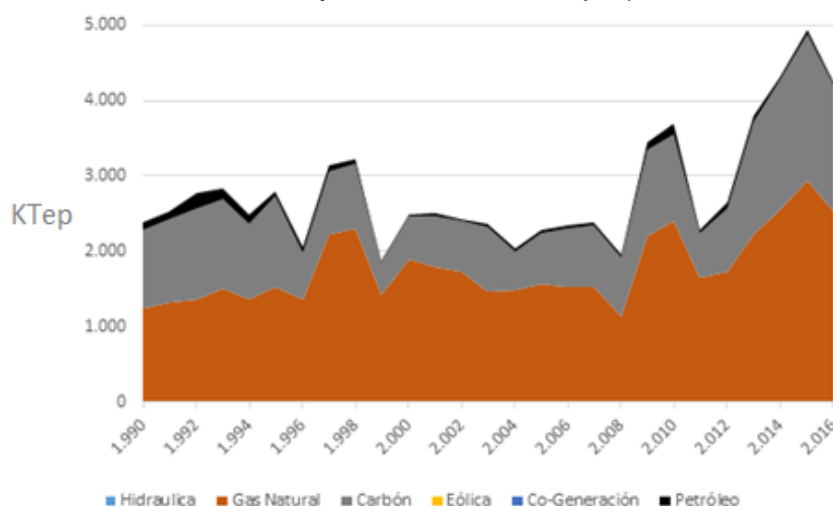


Fig. 8. Emisiones de CO₂ del Sistema Interconectado Nacional entre los años 1990 a 2016
Fuente: Datos tomados de Agencia Internacional de Energía. [29] Cálculos y Elaboración propia.

En la Fig. 8, Se observa con preocupación que a partir del 2008 las emisiones de CO_{2eq} presentan una tendencia creciente, lo cual se sustenta en un mayor nivel de emisiones por las plantas térmicas que operan con carbón.

Además, se muestran la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles y por lo tanto las emisiones de CO_{2eq} producidas por cada uno de los recursos primarios para la generación de energía eléctrica en el SIN. El gas natural aporta el mayor nivel de generación de emisiones en el periodo bajo estudio, por medio de equivalencia de unidades calculadas por el autor, se reporta la máxima emisión para el año 2015 con 2.929 kTep. [30] Otro recurso primario para la generación de energía eléctrica en el SIN, que aporta un nivel considerable de emisiones de CO₂ al ambiente corresponde al carbón, con una emisión máxima en el año 2015 de 1.955 kTep. [31-32]

Por otro lado, es importante resaltar que la generación de energía eléctrica a partir de recursos hidráulicos, eólicos y en general renovables no emite emisiones de CO_{2eq} durante su operación, o se consideran neutrales en cuanto a la emisión de CO₂. [33]

2 FENOMENO DE EL NIÑO

El fenómeno de El Niño es una variabilidad climática que incide sobre el océano pacífico, donde los vientos alisios llegan por coriolis a la Zona de Convergencia Intertropical ZCI, sobre la línea del ecuador. [34-35]

El ciclo normal del fenómeno funciona una vez los vientos se encuentran sobre la ZCI, estos se mueven superficialmente de Este a Oeste, moviendo con ellos el agua del mar Pacífico hacia Australia, devolviéndose por la atmosfera hacia la costa pacífica oriental donde absorbe energía solar, formando un ciclo cerrado. Ocasionando que en Australia el clima sea cálido, lluvioso y en países como, Ecuador y Perú mantengan con temperaturas frías y secas. [37]

En presencia del fenómeno de El Niño, el sistema de circulación de aire de los vientos alisios se detiene, las corrientes marítimas cambian de sentido, es decir de Oeste a Este, causando que en Australia el clima sea seco y en Perú y Ecuador aumenten las lluvias. [39] El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, en el video “Fenómeno El Niño Colombia”. Explica el fenómeno de El Niño en Colombia:

Colombia por ser un clima tropical y no poseer estaciones sino temporadas de más lluvias y menos lluvias, presenta unas características diferentes a los demás países, pues los vientos cambian su circulación desplazando las nubes, disminuyendo las lluvias en las regiones Andina y Caribe afectando los niveles de los ríos, disminuyendo el agua para consumo humano y producción sectorial. (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM 2015). [40]

En Colombia la ausencia de lluvias debido a la presencia del fenómeno de El Niño, como lo indica la Fig. 9 Anexo D, provoca impactos socioeconómicos los cuales afectan directamente la agricultura, ganadería, el recurso hídrico, y la generación de energía eléctrica. [41-42]

Para conocer la temperatura con que se presenta el fenómeno de El Niño en el Océano Pacífico, se desarrolló un indicador, El Índice Oceánico de El Niño (ONI en inglés), el cual se calcula como:

La media de 3 meses consecutivos de las anomalías de la temperatura superficial del mar medidas por el sensor ERSST.v3 en la región 3.4 del Niño (5°N - 5°S, 120° - 170°W). Se consideran episodios cálidos y fríos cuando las anomalías superan el umbral de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$. Cuando dicho umbral es cubierto durante un mínimo de 5 meses consecutivos se definen como episodios del Niño (+) o de la Niña (-). (Stev, D. Melo, L. Parra, D. 2015, 9-10). [44]

El fenómeno de El Niño es un fenómeno recurrente en intervalos de tres a cinco años seguidos del fenómeno de La Niña, como se observa en la Fig. 10 del Anexo

E. [45] Sin embargo, la variación climática de las aguas pacíficas es monitoreada con el fin de realizar un seguimiento detallado al fenómeno de El niño seguido del fenómeno de La Niña. [46-47]

En los años 1997 y 2015, la variabilidad climática ocasionada por el fenómeno de El Niño, fue catalogada como muy fuerte, pues el calentamiento del Océano Pacífico fue entre 2 y 2.5 °C. Para el año 1991, la variabilidad climática del fenómeno de El Niño fue catalogada como fuerte, llegando a aumentar la temperatura del Océano Pacífico entre 1.5 y 2°C. [45]

Para ese entonces, en el año 1991 el Sistema Eléctrico Colombiano no fue capaz de cubrir la demanda de energía eléctrica a partir del recurso hídrico, el fenómeno de El Niño se catalogó como fuerte, pero se prolongó desde el año 1990 a 1992, lo que generó una crisis energética y conllevó al Gobierno a tomar medidas extremas como fue la hora Gaviria¹. [48-49]

¹ Adoptar un horario de verano, cambia la hora del uso UTC-5 al UTC-4, que era la hora que manejaba Venezuela en ese entonces; la medida comenzó a emplearse el mismo día del inicio del racionamiento a las 10:00 de la mañana. Según datos investigativos, durante esta época se presentaron hechos de corrupción en las electrificadoras de El Guavio y Termorio, donde el conocido narcotraficante Pablo Escobar tenía varias operaciones en marcha.

3 METODOLOGÍA PARA RELACIONAR LAS EMISIONES DE CO₂Eq EN PRESENCIA DEL FENÓMENO DE EL NIÑO EN EL SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL EN COLOMBIA

3.1 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Las emisiones de CO₂eq del Sistema Interconectado Nacional, son producto de la generación de energía eléctrica a partir de combustibles fósiles usados en plantas termoeléctricas, [50] estas emisiones aumentan directamente al presentarse el fenómeno de El Niño, debido al cubrimiento que deben realizar las termoeléctricas para suplir la demanda eléctrica en la Zona Interconectada del País. En este artículo de revisión se tomaron algunas fuentes principales de la totalidad de las referencias bibliográficas las cuales se describen a continuación:

La capacidad instalada para la generación de energía en Colombia, la participación de las hidroeléctricas, gas natural, carbón, líquidos, eólico, co-generador y otras menores, del informe de XM del 2016.

Para conocer la generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional en Colombia, se tomaron datos históricos de páginas electrónicas actualizadas como XM, UPME y Agencia Internacional de Energía, desde 1990 a 2014. Para los años 2015 y 2015 los datos de origen sobre la contribución hídrica, gas natural, carbón, petróleo, eólica y co-generación, en unidades de GWh, fueron calculados a partir de nivel de generación de energía eléctrica expresado en el informe anual de XM, generación Sistema Interconectado Nacional SIN.

De la misma manera, para el periodo de 1990 a 2016, se extrajo información del consumo de Gas Natural, Carbón y Petróleo, para la generación de energía eléctrica de la Agencia Internacional de Energía. [51] A partir de esta información se convirtió a Kilo Toneladas de CO₂ eq, realizando una equivalencia de unidades de energía. [52]

Por otro lado, se revisó el Índice Oceánico del El Niño, describiendo que es, como es el ciclo y como se presenta en Colombia, afectando directamente la demanda de generación eléctrica y el aumento de las emisiones de CO₂eq.

3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Una vez extraída la información de las fuentes nacionales e internacionales, los datos de contribución de energía en GWh del sistema hídrico, eólico, gas natural y carbón, se organizaron cronológicamente desde el año 1990 a 2016, en Excel, se filtraron, se realizaron los gráficos correspondientes y se analizaron sus tendencias para un mayor entendimiento del funcionamiento de la generación de energía eléctrica y las principales fuentes primarias causantes de las emisiones de CO₂eq.

Se analizaron las causas y efectos del fenómeno meteorológico “El niño”, la relación que existe entre el Índice Oceánico de El Niño (ONI) y las emisiones equivalentes de CO₂.

3.3 RELACIÓN ENTRE LA GENERACIÓN DE ENERGÍA POR TERMOELÉCTRICAS, FENÓMENO DE EL NIÑO Y LAS EMISIONES CO₂Eq

Una vez analizados los datos se grafican en un mismo sistema de coordenadas los tres grupos de información, generación de energía eléctrica en Colombia, fenómeno de El niño y emisiones de co₂eq, para identificar la interacción entre estas variables en el periodo comprendido entre los años 1990 y 2016.

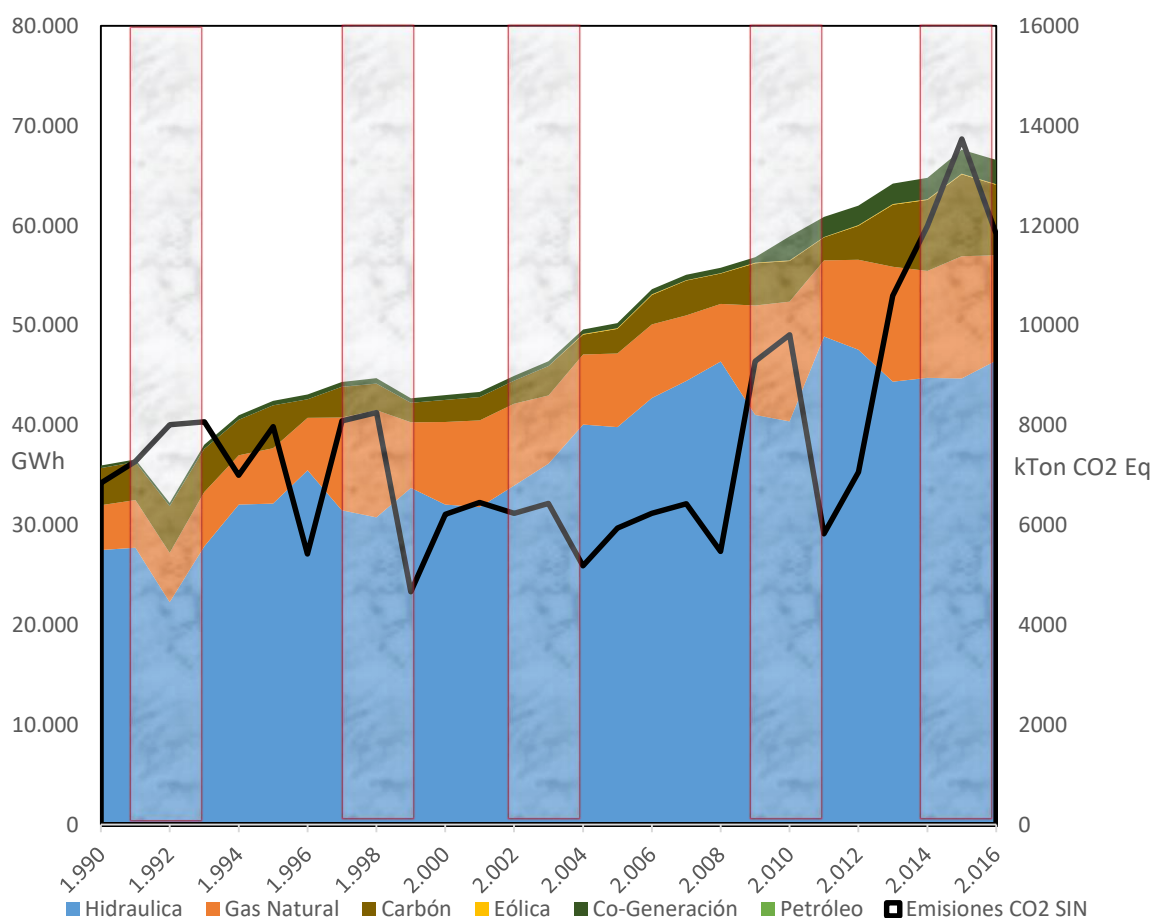


Fig. 11. Generación de energía, emisiones de CO₂ cuando se presenta el fenómeno de El Niño del Sistema Interconectado Nacional entre los años 1990 al 2016.

Fuente: Recopilación de datos generación energía eléctrica XM, UPME. Emisiones CO₂, Agencia Internacional de Energía. Fenómeno de El Niño Nacional Weather Service Integración de variables en gráfico. Cálculos y Elaboración propia.

3.3.1 Resultados

En la Fig. 11 se integran tres tipos de información, compiladas tal y como se indica en la recopilación de información, las cuales son la generación de energía eléctrica entre 1990 a 2016 expresada en unidades de GWh, el fenómeno de El Niño expresado en el ONI y las emisiones equivalentes de CO₂ provenientes de la generación de energía eléctrica del Sistema Interconectado Nacional expresadas en Kt CO_{2eq}.

En la Fig. 11 se pueden identificar cinco eventos en los cuales se ha presentado el fenómeno de El niño en el País entre los años 1990 y 2016, con una intensidad moderada, fuerte o muy fuerte. Para cada uno de los eventos mencionados se identifica un descenso en los aportes de los recursos hídricos a la generación de energía eléctrica y se realizan comentarios particulares para cada evento. Como se mencionó en el apartado de recopilación de la información los datos se extrajeron de La Agencia Internacional de Energía y, por otro lado, los cálculos para obtener los porcentajes de incremento son propios.

Para el año 1992, la generación de energía a partir de recurso hidráulico presentó una contribución de 22.281 GWh del total de energía generada en el País, lo cual representó un 67%, [25] implicando un descenso respecto del año 1991 en un 19%, lo cual, sumado a los múltiples factores de ineficiencia, tales como la acción sindical, el desbalance financiero y el aumento de las deudas de largo plazo debido a la devaluación del peso [53], condujeron a un racionamiento en Colombia [54].

En la Fig. 11 se observa para 1992 que las plantas de energía eléctrica a partir de recursos fósiles no aumentan su producción de energía conduciendo a un desabastecimiento energético para el País. Es evidente que las termoeléctricas no estuvieron en capacidad de suplir la energía que no aportaron los recursos hidráulicos, y en general ninguna otra tecnología pudo cubrir este déficit de energía.

En el año 1996 la generación de energía eléctrica a partir del recurso hidráulico representó el 82% del total generado, mientras que para 1997 fue de tan solo 70%. Para suplir el gran déficit de energía en el País, las plantas termoeléctricas que generan electricidad con combustibles fósiles aumentaron su participación, el gas natural pasó de 12% en 1996 a un 20.87% en 1997 y, de igual forma, el carbón aumento pasando de un 4.30% en 1996 a un 6.84% en 1997.

En los años 2002 y 2003 no se evidencia una reducción en el aporte de generación de energía eléctrica a partir del recurso hídrico. Lo anterior se debe al fenómeno de la niña catalogado como fuerte presentado entre los años 1998 y 2002 por tal motivo las hidroeléctricas contaban con suficiente recurso hídrico para abastecer la demanda eléctrica del momento.

Entre los años 2008 y 2010 se presentó un descenso del 12% en la generación de energía eléctrica a partir de recurso hídrico y se observa un aumento en un 108%

en la participación de las termoeléctricas que operan con gas natural en el Sistema Interconectado Nacional.

Para el último evento de fenómeno del niño, periodo analizado entre los años 2014 y 2015 el aumento en la generación de energía eléctrica a partir de las termoeléctricas que operaban con gas natural y con carbón para cada una fue de un 15%.

Teniendo en cuenta lo anterior cada vez que se presenta el fenómeno El Niño en Colombia, se reduce la participación del recurso hídrico en la generación de electricidad, se aumenta el uso de combustibles fósiles en el Sistema Interconectado Nacional y las emisiones de CO_{2eq} se elevan.

Ante el descenso de la participación del recurso hídrico en la generación de energía eléctrica en Colombia, la única tecnología en capacidad de solventar la demanda de energía es la termoeléctrica que opera a partir de combustibles fósiles, pues, como se indicó en el capítulo fuentes primarias de generación de energía eléctrica en el Sistema Interconectado Nacional (SIN), no existen actualmente alternativas de generación de energía para abastecer la necesidades energéticas del País ante un déficit de electricidad.

4 CONCLUSIONES

Las emisiones de CO₂, por parte del Sistema Interconectado Nacional aumentan cuando hay presencia del fenómeno de El Niño debido al descenso en el nivel de disponibilidad de recurso hídrico y, consecuentemente, al aumento en la producción de las plantas termoeléctricas para abastecer la demanda en el País.

El SIN actualmente no cuenta con una alternativa de respaldo eficiente, amigable con el medio ambiente, en capacidad de solventar la demanda de energía eléctrica en el País cuando se presenta el fenómeno de El Niño a pesar de contar con recursos renovables que pueden ser utilizados en la generación de energía eléctrica como los son los recursos eólicos, solares y de biomasa entre otros. [55] Se deben analizar las razones por las cuales no hay plantas instaladas de estas tecnologías que estén en capacidad de proveer un respaldo eficaz al SIN en condiciones de déficit y, en general, identificar por qué no se han integrado al mercado eléctrico. Estas consideraciones se deben analizar en otro trabajo debido a que el alcance de este artículo está limitado a evaluar la relación entre el fenómeno del niño, los recursos primarios para generación de energía eléctrica y las emisiones de CO_{2eq} provocadas por el SIN en situaciones de escasez de recurso hídrico.

Las plantas termoeléctricas actualmente son el respaldo para el Sistema Interconectado Nacional cuando hay presencia del fenómeno de El Niño. Desafortunadamente, desde el punto de vista ambiental perjudican el recurso aire, debido al aumento de emisiones de CO_{2eq}, que se presenta por la quema de

combustibles fósiles. Estas emisiones están deteriorando la calidad del aire provocando incremento de los Gases Efecto Invernadero y por lo tanto deteriorando la calidad de vida de los colombianos. ¿Esta Colombia preparada para adoptar tecnologías limpias que reemplacen las tecnologías fósiles convencionales?

Dado que Colombia se ha unido a combatir el cambio climático por medio de la adopción de metas del protocolo de Kioto y COP21, se deben establecer políticas claras para el control y reducción de las emisiones de CO₂ del SIN en época del fenómeno de El Niño. Esquemas de incentivos de mercado que potencialicen la implementación de proyectos de generación de energía eléctrica integrados al SIN a partir de recursos renovables, así como programas institucionales que promuevan la investigación y el desarrollo de las soluciones renovables a nivel Colombia pueden considerarse dentro de las políticas de Gobierno.

Debido a los impactos negativos que se presentan en el recurso aire por la generación de energía eléctrica a partir de las plantas térmicas, Colombia debe ampliar la producción de energía eléctrica a partir de energías más limpias, que contribuyan con el desarrollo sostenible, como lo son la energía eólica, solar, biomasa, entre otras. Una vez las energías renovables estén en capacidad de suplir la demanda eléctrica cuando se presente el fenómeno de El niño se puede pensar en implementar esquemas impositivos a las emisiones de CO₂ y de esta manera desincentivar el uso de tecnologías que impliquen combustibles fósiles.

REFERENCIAS

- [1] Pulido, A. Turriago, J. Torres, F. Villanueva, B. Jiménez, R. Suárez, Oscar. Chaparro, N. Dávila, P. Rojas, A. Godet, A. (2017). *Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero (GEI) Colombia*. Recuperado de http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023421/cartilla_INGEI.pdf
- [2] Benavides H. León, G. (2007). Información Técnica sobre gases de efecto invernadero y cambio climático. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Gases+de+Efecto+Invernadero+y+el+Cambio+Climatico.pdf/7fabbbd2-9300-4280-befe-c11cf15f06dd>
- [3] Sistema Nacional de Información Ambiental. (s.f). ¿Qué es el protocolo de Kioto? Recuperado de <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-48407.html>
- [4] Ministerio de Medio Ambiente. (2017). *Protocolo de Kioto (pK)*. Recuperado de <http://www.minambiente.gov.co/index.php/component/content/article/458-plantilla-cambio-climatico-14>
- [5] Intergovernmental panel on climate change. (s.f). *El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Recuperado de http://www.ipcc.ch/home_languages_main_spanish.shtml.
- [6] Barreto, C. Campó, J. (2012). Relación a largo plazo entre consumo de energía y PIB en América Latina: Una evaluación empírica con datos panel. *Ecos de economía*. (35), 75.

[7] Grupo Banco Mundial. (2007). *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. Recuperado de http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?contextual=default&end=2013&locations=CO&name_desc=false&start=1990&view=chart

[8] Grupo Banco Mundial. (2007). *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. Recuperado de http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?contextual=default&end=2013&locations=CO-DE-US-CA&name_desc=false&start=1990&view=chart

[9] Grupo Banco Mundial. (2007). *Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita)*. Recuperado de http://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?contextual=default&end=2013&locations=CO-BR-EC-VE-PE-BO-AR-CL&name_desc=false&start=1990&view=chart

[10] Unidad de Planeación Minero Energética. (2015). *Integración de las energías renovables no convencionales en Colombia*. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Estudios/2015/Integracion_Energias_Renovables/RESUMEN_EJECUTIVO_INTEGRACION_ENERGIAS_UPME2015.pdf

[11] Tecno Blog San Martin. (s.f). *Generación, transporte y distribución de la energía eléctrica*. Recuperado de <https://tecnoblogsanmartin.wordpress.com/category/tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/unidad-4-energia-tecnologia-3%C2%BA-e-s-o/4-2-generacion-transporte-y-distribucion/>

[12] Universidad Distrital Francisco José de Caldas. (2006). *Transmisión en C. A y de C.D*. Recuperado de <http://gemini.udistrital.edu.co/comunidad/grupos/gispud/redeselectricas/site/cap2/c2transmiacdc.php>

[13] Ramírez, S. (2004). Redes de distribución de energía. *Universidad Nacional de Colombia*, (3) 2. Recuperado de http://www.bdigital.unal.edu.co/3393/1/958-9322-86-7_Parte1.pdf

[14] XM. (2012). *Descripción mercado eléctrico en Colombia generalidades STN y restricciones*. Recuperado de http://www.xm.com.co/MemoriasCapacitacionEMSA/Restricciones_SIN/Generalidades-Restricciones-STN.pdf

[15] ISA Intercolombia (s.f). *Cadena de la energía eléctrica*. Recuperado de <http://www.intercolombia.com/Negocio/Paginas/cadena-energia-electrica.aspx>

[16] Comisión de Regulación de Energía y Gas. (2017). *Estructura del sector*. Recuperado de <http://www.creg.gov.co/index.php/sectores/energia/estructura-energia>

[17] Asociación Colombiana de generadores de Energía Eléctrica. (s.f). *Cómo funciona el Sistema Eléctrico Nacional*. Recuperado de <https://www.acolgen.org.co/index.php/sectores-de-generacion/como-funciona-el-sistema-electrico-nacional>

[18] Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C. (1994). Ley 143 de 1994, por la cual se establece el régimen para la generación, interconexión, transmisión, distribución y comercialización de electricidad en el territorio nacional, se conceden unas autorizaciones y se dictan otras disposiciones en materia energética. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4631>

[19] UPME (2017). *Sector eléctrico nacional*. Asocodis. Recuperado de <http://www.siel.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=L9AASwJjMz8%3d&tabid=58>

[19] Jaramillo. J., Posada. J., Manrique. P., (2016). *Emulador de carga para recrear las curvas de consumo eléctrico diario en Zonas No Interconectadas de Colombia definidos en la metodología CREG-002 de 2014*. IEEE, 1, doi: 10.1109/ARGENCON.2016.7585240

[20] Rodríguez, H. (2019). *La generación distribuida y su posible integración al sistema interconectado nacional*. Recuperado de <http://www.naturgas.com.co/uploads/circulares/2009/N53.anxpdf.pdf>

[21] Torres, A. A. (2016). Fundamentos técnico económicos de la regulación del sector eléctrico (memorias de clase). Universidad Externado de Colombia. Bogotá

[22] XM S.A E.S.P. (2016). *Capacidad efectiva neta*. Recuperado de <http://informesanuales.xm.com.co/2016/SitePages/operacion/2-6-Capacidad-efectiva-neta.aspx>

[23] Delso, C. (2001). *Centrales térmicas de combustibles fósiles*. Recuperado de <http://platea.pntic.mec.es/~cmarti3/2000/sesion/eema/termica.htm>

[24] Caracol radio. (2016). Colombia cuenta con 15 termoeléctricas para apoyar el sistema energético, Recuperado de http://caracol.com.co/radio/2016/03/02/nacional/1456878900_386397.html

[25] International Energy Agency, (2017). *Colombia: electricity and heat from 1990 to 2014*. Recuperado de <https://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?country=COLOMBIA&product=electricityandheat&year=1990>

[26] Unidad de Planeación Minero Energética. (2016). Balance Energético Colombiano - BECO 1975 - 2015: Ver.09_Rev.02_Publicación.03. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/balance-energetico-colombiano-1975-2015>

[27] El colombiano. (2012). *Hace 20 años Colombia sufrió el apagón*. Recuperado de http://www.elcolombiano.com/historico/hace_20_anos_colombia_sufrio_el_apagon-JVEC_180119

[28] Academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. (2003). *Factores de emisión de los combustibles colombianos*, Recuperado de www.siame.gov.co/siame/documentos/documentacion/mdl/DOC/18_FECOC.doc

[29] International Energy Agency. (2017). *Statistics Colombia balances for 1990-2014*. Recuperado de

<http://www.iea.org/statistics/statisticssearch/report/?year=2014&country=COLOMBIA&product=Balances>

[30] Unidad de Planeación Minero Energética. (2016). Balance Energéticos primarios - BECO 1975 - 2015: Ver.09_Rev.02_Publicación.03. Recuperado de <http://www1.upme.gov.co/balance-energetico-colombiano-1975-2015>

[31] Sistema de información eléctrico Colombiano SIEL. (2009), *Estadísticas y variables de generación* 2015. Recuperado de <http://www.siel.gov.co/Inicio/Generación/Estadisticasyvariablesdegeneración/tabid/115/Default.aspx?PageContentID=1152>

[32] Unidad de Planeación Minero Energética. (2017). *Demanda Histórica (SIN) por Agente y Mercado*. Recuperado de [http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fDemanda%2fDemanda+Hist%C3%B3rica+\(SIN\)](http://www.upme.gov.co/Reports/Default.aspx?ReportPath=%2fSIEL+UPME%2fDemanda%2fDemanda+Hist%C3%B3rica+(SIN))

[33] IDEAM. (s.f.) *Capítulo 2. Inventario nacional de emisiones de gases efecto invernadero*. Recuperado de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/021658/2Comunicacion/IDEAMTOMOIIICap2.pdf>

[34] Instituto de tecnologías educativas. (s.f). *El fenómeno de la Oscilación del Sur-El Niño (ENSO)*. Recuperado de https://fjferrer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion05/1_el_fenmeno_de_la_oscilacin_del_surel_nio_enso.html.

[35] Chen. J., Zuo. T, (2014). *Impact of the central pacific zonal wind on the central pacific pattern el nino event*, IEEE Xplore, 4408, doi: 10.1109/IGARSS.2014.6947468

[37] H.Y. Kao, J.Y. Yu, (2009) *Contrasting eastern-Pacific and central-Pacific types of ENSO*," Journal of Climate, Vol. 22, pp. 615-632, 2009.

[39] BBC Mundo. (s.f). *¿Cómo ocurre El niño y la Niña?*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=nDJUPk6iVRQ>

[40] Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). (2015). *Fenómeno El Niño en Colombia*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=HYuc35jqx4>

[41] El espectador. (2015). Conozca los efectos del fenómeno de El Niño en Colombia. El espectador. Recuperado de <http://www.americaeconomia.com/negocios-industrias/conozca-los-efectos-del-fenomeno-de-el-nino-en-colombia>

[42] Montealegre, J. (2007). Modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/440517/Modelo+Institucional+El+Ni%C3%B1o++La+Ni%C3%B1a.pdf/232c8740-c6ee-4a73-a8f7-17e49c5edda0>

[43] Peña J. (2016). *Día Mundial de la tierra: “Mitos y realidades sobre el fenómeno del niño”* Recuperado de <http://comunicacioncontinua.com/dia-mundial-la-tierra-mitos-realidades-fenomeno-del-nino/>

[44] Stev, D. Melo, L. Parra, D. 2015. *Impactos de los fenómenos climáticos sobre el precio de los alimentos en Colombia*. Borradores de economía. 902, 9-10.

[45] National weather service. (2015). *Cold & warm episodes by season*. Recuperado de http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml

[46] Golden gate weather services. (2017). *El Niño and La Niña Years and Intensities*. Recuperado de <http://ggweather.com/enso/oni.htm>

[47] XM S.A E.S.P. (2013). *Índice oceánico de El Niño (ONI)*. Recuperado de [http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/2-8-Anex-Indice-oceanico-de-El-Ni%C3%B1o-\(ONI\).aspx](http://informesanuales.xm.com.co/2013/SitePages/operacion/2-8-Anex-Indice-oceanico-de-El-Ni%C3%B1o-(ONI).aspx)

[48] Mateus, A. (2016). Crisis energética en Colombia. *Tecnología, Investigación y Academia*, 4(2), pp. 75

[49] Toda Colombia la cara amable de Colombia. (s.f). *Cronología de Colombia siglo XX*. Recuperado de <http://www.todacolombia.com/historia-de-colombia/cronologia-siglo-xx.html>

[50] López, C. Sánchez Mónica. (2007). *Diagnóstico de las centrales termoeléctricas en Colombia y evaluación de alternativas tecnológicas para el cumplimiento de la norma de emisión de fuentes fijas*. (Tesis de grado). Universidad de la Salle. Bogotá D.C. Recuperado de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14922/41011162.pdf?sequence=1>

[51] International Energy Agency, (2017). *Colombia: Coal, Natural gas, Oil from 1990 to 2014*. Recuperado de <https://www.iea.org/statistics/statisticsearch/report/?year=2014&country=COLOMBIA&product=Coal>

[52] Rowlett, R., (2005). *A dictionary of units of measurement*. Recuperado de <http://www.unc.edu/~rowlett/units/index.html>

[53] Toro, D., (2015), *Corto circuito y el apagón de 1992*, Recuperado de <http://www.eafit.edu.co/escuelas/economiayfinanzas/noticias-eventos/Paginas/Corto-circuito-y-el-apag%C3%B3n-de-1992.aspx>

[54] Urbiztondo, S y Rojas J. (2005) *La Reforma del Sector Eléctrico en Colombia: Breve Análisis y Crítica Constructiva*. Recuperado de <http://www.fiel.org/publicaciones/Documentos/DOC85.pdf>

[55] García, H. Corredor, A. Calderón, L. Gómez, M. (2013). *Análisis costo beneficio de energía renovables no convencionales en Colombia*. Recuperado de http://www.fedesarrollo.org.co/wp-content/uploads/2011/08/WWF_Analisis-costo-beneficio-energias-renovables-no-convencionales-en-Colombia.pdf

ANEXO A

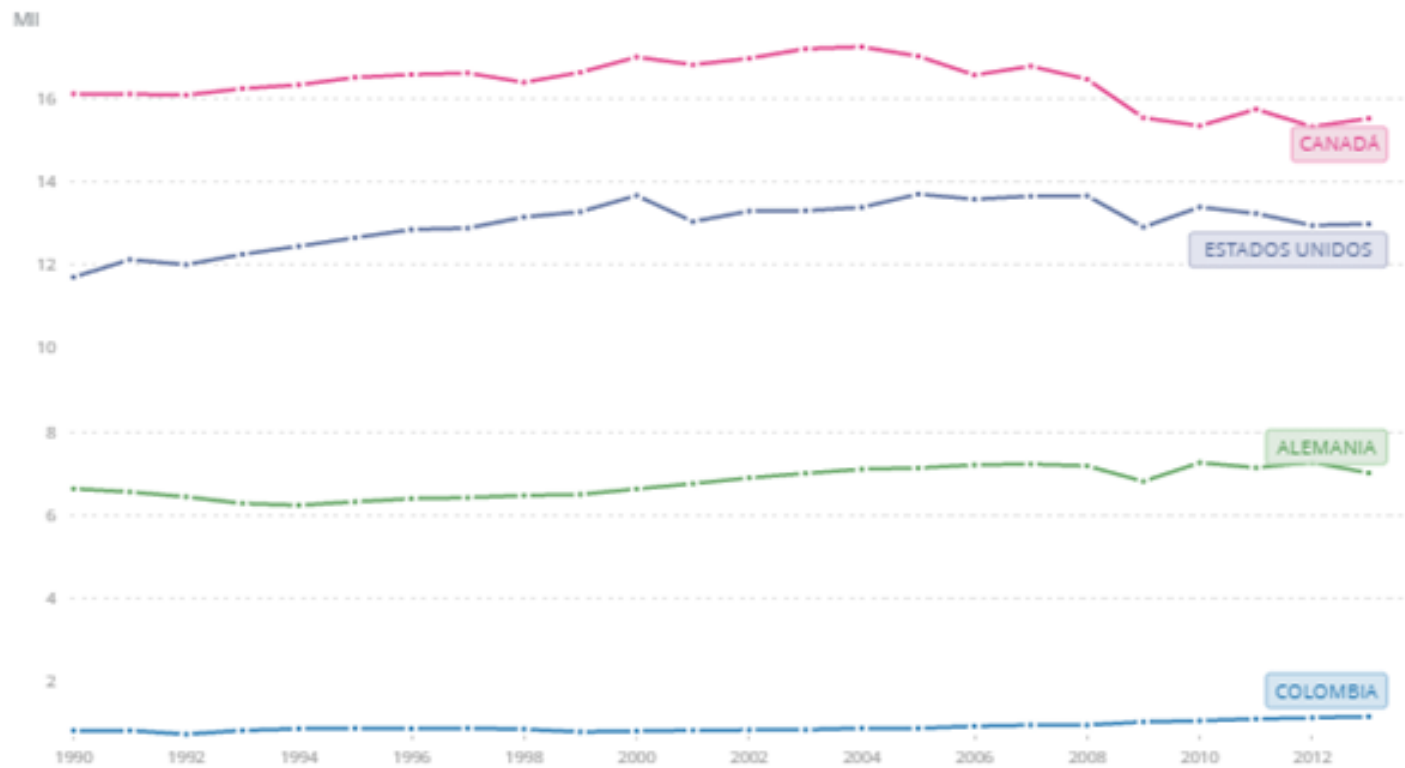


Fig. 1 Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) en Canadá, Estados Unidos, Alemania y Colombia durante los años 1990 a 2013.
Fuente: Banco Mundial [8]

ANEXO B

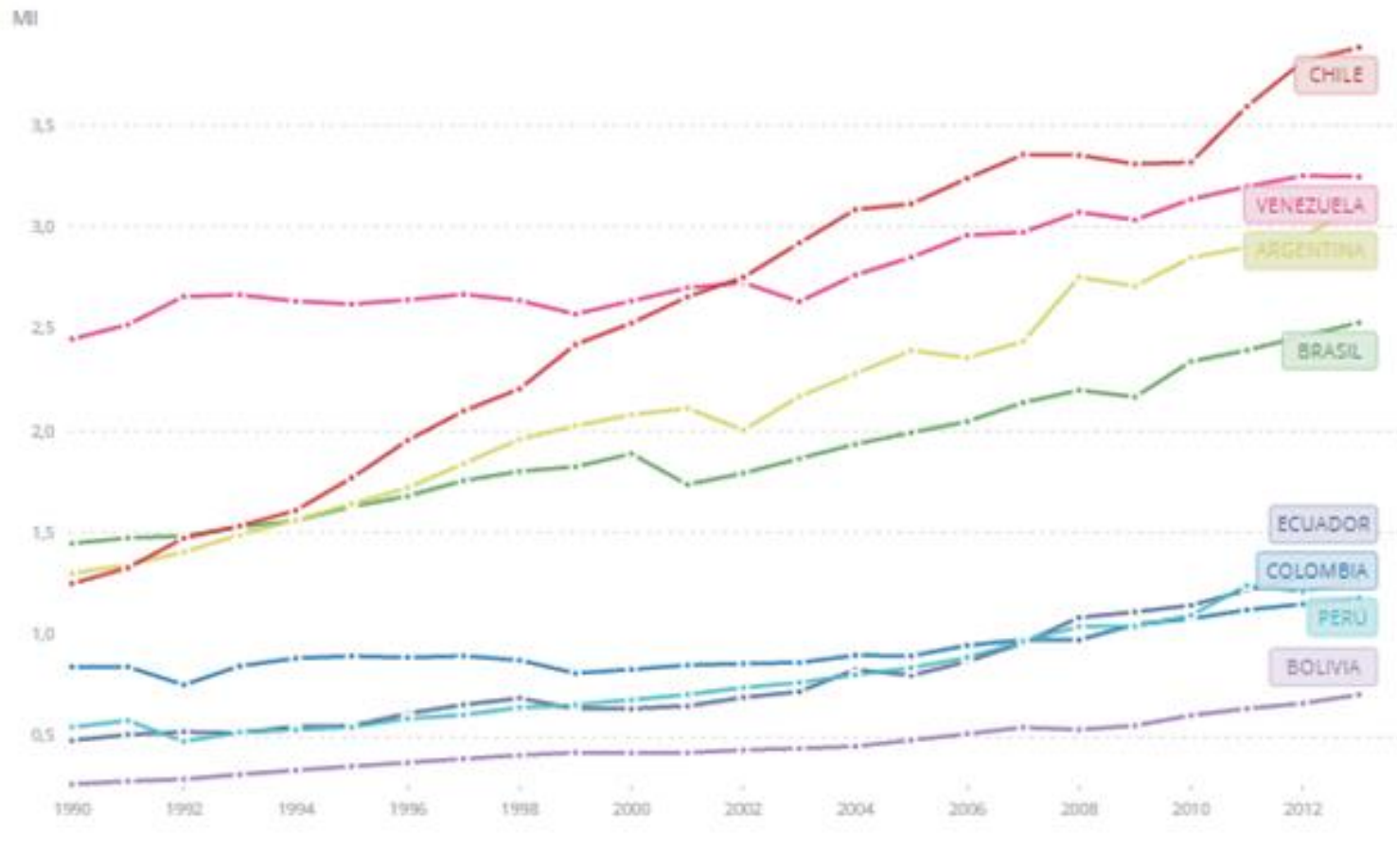


Fig. 2 Consumo de energía eléctrica (kWh per cápita) en Bolivia, Colombia, Perú, Ecuador, Brasil, Argentina, Venezuela y Chile durante los años 1990 a 2013.

Fuente: Banco Mundial. [9]

ANEXO C

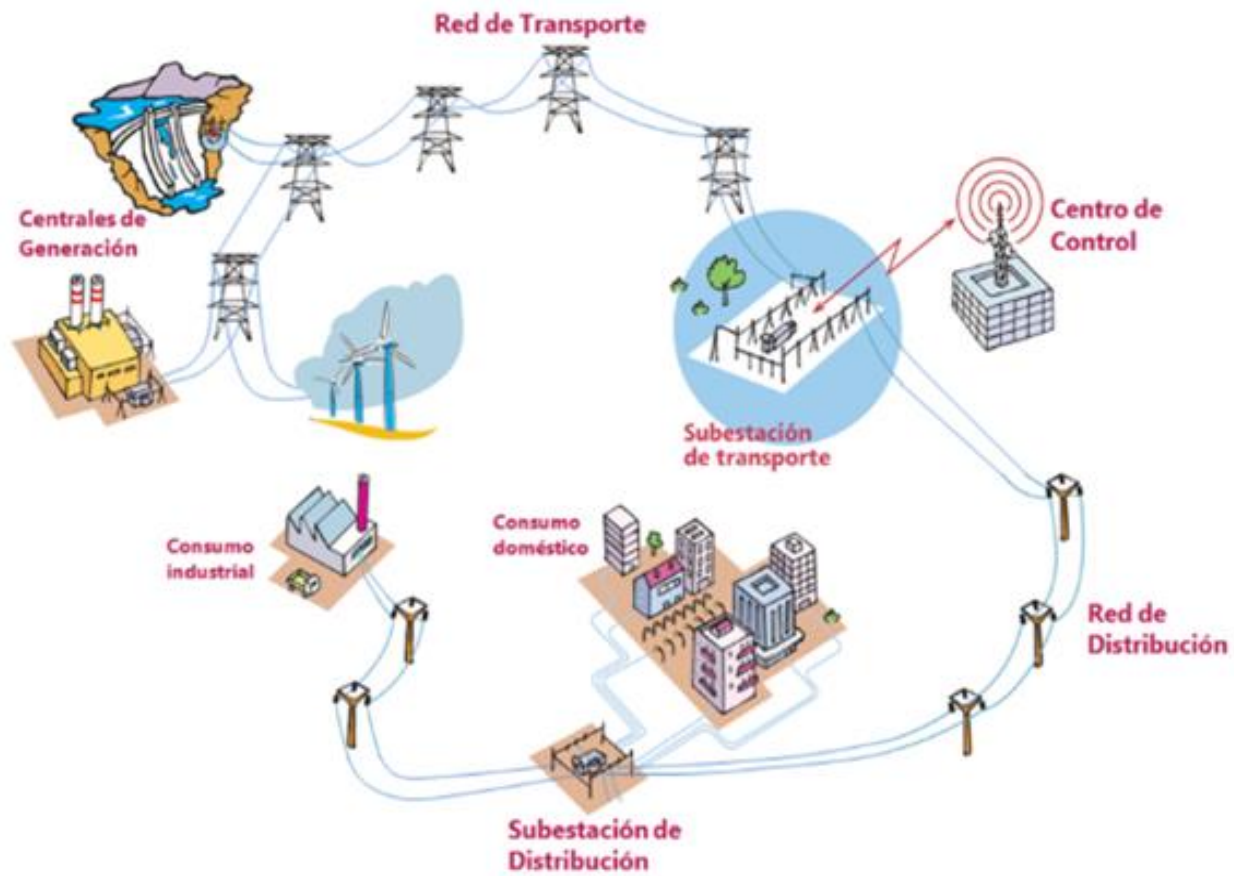


Fig. 3 Descripción del sistema eléctrico
Fuente: Intercolombia. [15]

ANEXO D



Fig. 9. El fenómeno de El Niño y sus efectos en América Latina.

Fuente: Comunicación continua. [43]

ANEXO E

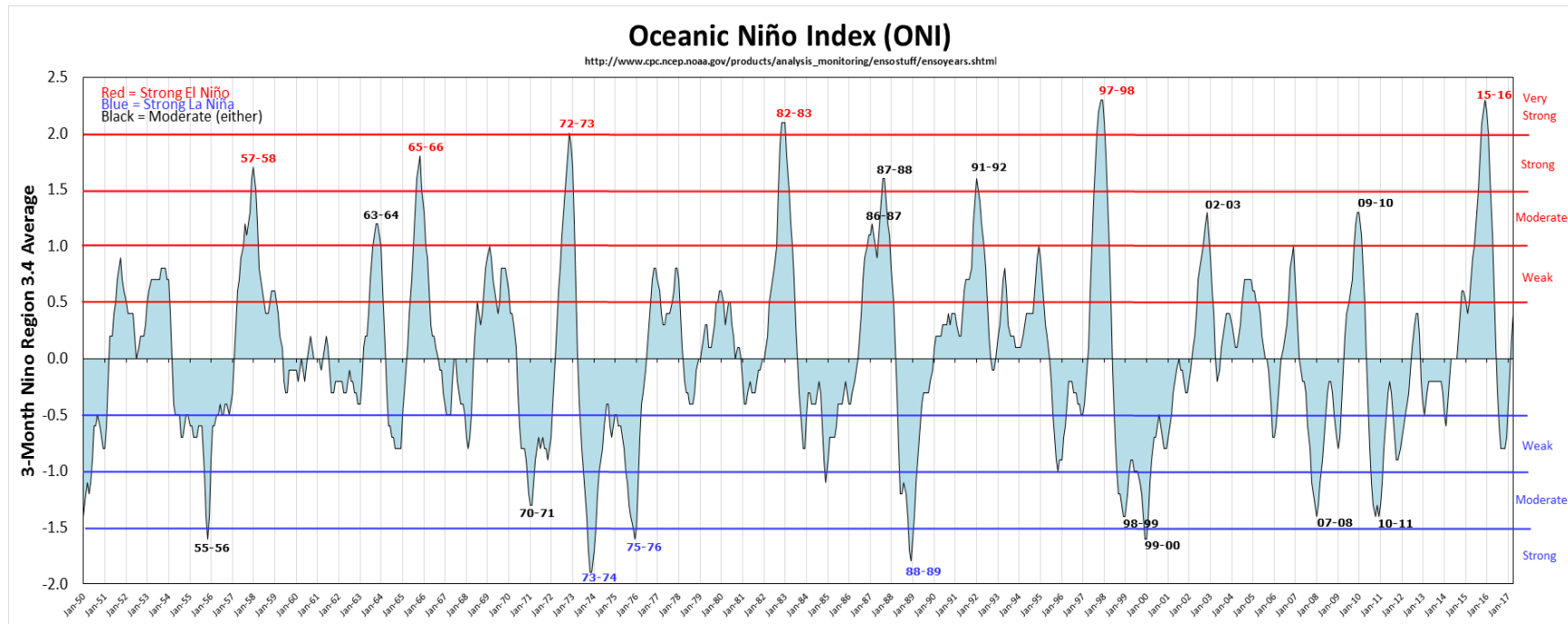


Fig. 10. Índice Oceánico El Niño
Fuente: Nacional Weather Service [46]